

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
25. August 2005 (25.08.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/078287 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **F04D 15/02**,  
27/02

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/001193

(22) Internationales Anmeldedatum:  
5. Februar 2005 (05.02.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
04002979.5 11. Februar 2004 (11.02.2004) EP

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **GRUNDFOS A/S** [DK/DK]; Poul Due Jensens Vej  
7-11, DK-8850 Bjerringbro (DK).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KALLESØE, Carsten**  
[DK/DK]; Hedebacken 51, DK-8800 Viborg (DK).

(74) Anwälte: **WILCKEN, Thomas** usw.; Bei der Lohmühle  
23, 23554 Lübeck (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,  
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,  
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,  
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,  
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,  
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,  
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL,  
PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,  
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-  
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-  
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der  
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING FAULTS DURING THE OPERATION OF A PUMP UNIT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG VON FEHLERN BEIM BETRIEB EINES PUMPENAGGREGATES

(57) Abstract: The invention relates to a method for determining faults during the operation of a pump unit. At least two electric variables that determine the electric output of the motor and at least one fluctuating hydraulic variable of the pump are detected. The detected values or values formed from said variables by means of algorithms are automatically compared to predefined stored values using electronic data processing and the results of said comparison are used to determine whether or not faults have occurred.

(57) Zusammenfassung: Das Verfahren dient zur Ermittlung von Fehlern beim Betrieb eines Pumpenaggregats. Es werden mindestens zwei die elektrische Leistung des Motors bestimmende elektrische Größen des Motors und mindestens eine veränderliche hydraulische Grösse der Pumpe erfasst. Die erfassten oder davon durch Algorithmen gebildeten Werte werden selbsttätig mittels elektronischer Datenverarbeitung mit vorgegebenen abgespeicherten Werten verglichen, wobei anhand des Ergebnisses ermittelt wird, ob ein Fehler vorliegt oder nicht.



**WO 2005/078287 A1**

Titel: Verfahren zur Ermittlung von Fehlern beim Betrieb eines Pumpenaggregates

### Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung von Fehlern beim Betrieb eines Pumpenaggregates, insbesondere eines Kreiselpumpenaggregats gemäß den im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen sowie eine entsprechende Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens gemäß Anspruch 18.

Es zählt auch bei Pumpenaggregaten inzwischen zum Stand der Technik, eine Vielzahl von Sensorik vorzusehen, einerseits um Betriebszustände zu erfassen, andererseits auch um Fehlzustände der Anlage und/oder des Pumpenaggregats zu ermitteln. Nachteilig hierbei ist jedoch, dass die in diesem Zusammenhang erforderliche Sensorik nicht nur aufwändig und teuer, sondern häufig auch störanfällig ist.

Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Ermittlung von Fehlern beim Betrieb eines Pumpenaggregats zu schaffen, welches mit möglichst geringer Sensorik ausführbar ist sowie eine Vorrichtung zur Ausführung des Verfahrens.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch die in Anspruch 1 und 2 angegebenen Merkmale gelöst. Eine entsprechende Vorrichtung ist durch die Merkmale des Anspruchs 18 definiert. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie der erfindungsgemäßen Vorrichtung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung und den Figuren.

Grundgedanke der vorliegenden Erfindung ist es, anhand in der Regel ohnehin zur Verfügung stehender oder zumindest wenig aufwändig ermittelbarer elektrischer Größen des Motors sowie mindestens einer in der Regel sensorisch zu ermittelnden veränderlichen hydraulischen  
5 Größe der Pumpe für den elektrischen Motor sowie die hydraulisch-mechanische Pumpe charakteristische Daten zu erfassen und diese ggfs. nach mathematischer Verknüpfung auszuwerten. In einfachster Form erfolgt dies durch Vergleich mit vorgegebenen Werten, wobei sowohl der Vergleich als auch das Ergebnis selbsttätig mittels elektroni-  
10 scher Datenverarbeitung erfolgt, die somit feststellt, ob ein Fehler im Betrieb der Pumpe vorliegt oder nicht.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Ermittlung von Fehlern beim Betrieb eines Pumpenaggregats sieht somit vor, mindestens zwei die elekt-  
15 rische Leistung des Motors bestimmende Größen und mindestens eine veränderliche hydraulische Größe der Pumpe zu erfassen, diese erfassen oder davon abgeleiteten Werte mit vorgegebenen Werten zu vergleichen und zu ermitteln ob ein Fehler vorliegt oder nicht. Dies alles erfolgt selbsttätig durch elektronische Datenverarbeitung. Das erfindungsgemäße Verfahren benötigt ein Minimum an Sensorik und kann  
20 bei modernem, typischerweise frequenzumrichter gesteuerten Pumpen, die ohnehin eine digitale Datenverarbeitung aufweisen, in der Regel softwaremäßig implementiert werden. Dabei ist besonders vorteilhaft, dass die die elektrische Leistung des Motors bestimmenden Größen, nämlich typischerweise die am Motor anliegende Spannung und der  
25 den Motor speisende Strom, ohnehin innerhalb der Frequenzumrichterelektronik zur Verfügung stehen, so dass zur Erfassung einer hydraulischen Größe, z.B. des Drucks lediglich ein Drucksensor erforderlich ist, der im Übrigen bei modernen Pumpen ebenfalls schon häufig zur Standard-  
30 ausstattung zählt. Die zum Vergleich erforderlichen vorgegebenen Werte können in digitaler Form in entsprechenden Speicherbausteinen der Motorelektronik abgelegt werden.

Alternativ zum Vergleich mit tabellarisch abgelegten charakteristischen Werten von Motor und Pumpe ist gemäß Anspruch 2 vorgesehen, dass einerseits die zwei die elektrische Leistung des Motors bestimmenden elektrischen Größen des Motors, vorzugsweise die am Motor anliegende Spannung und der dem Motor speisende Strom, zur Erzielung mindestens eines Vergleichswertes mathematisch verknüpft werden und andererseits die mindestens eine veränderliche hydraulische Größe der Pumpe sowie eine weitere die Leistung der Pumpe bestimmende mechanische oder hydraulische Größe zur Erzielung mindestens eines weiteren Vergleichswerts mathematisch verknüpft werden, wobei dann anhand des Ergebnisses der mathematischen Verknüpfung durch Vergleich mit vorgegebenen Werten ermittelt wird, ob ein Fehler vorliegt oder nicht. Die mathematische Verknüpfung erfolgt dabei für die motorseitigen Daten durch entsprechende für die elektrischen und/oder magnetischen Zusammenhänge im Motor bestimmende Gleichungen wohingegen für die Pumpe Gleichungen verwendet werden, welche das hydraulische und/oder mechanische System beschreiben. Die sich bei den jeweiligen Verknüpfungen ergebenden Werte werden entweder direkt oder mit vorgegebenen, in der Speicherelektronik abgespeicherten Werten verglichen, wonach die elektronische Datenverarbeitung selbsttätig feststellt ob ein Fehler vorliegt oder nicht. Bei dem direkten Vergleich wird die Fehlergröße als eine Abweichung zwischen einer sich aus dem Motormodell ergebenden Größe, z. B.  $T_e$  oder  $\omega$  und einer entsprechenden aus dem mechanisch-hydraulischen Modell sich ergebenden Größe ermittelt. Das Verfahren gemäß Anspruch 2 hat gegenüber dem nach Anspruch 1 den Vorteil, dass weniger Speicherplatz für die vorgegebenen Werte erforderlich ist, jedoch benötigt dieses Verfahren mehr Rechenkapazität der Datenverarbeitungsanlage.

30

Dabei kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren nicht nur festgestellt werden ob ein Fehler vorliegt, sondern es kann darüber hinaus vor-

teilhaft auch noch der Fehler spezifiziert werden, d.h. ermittelt werden, um welchen Fehler es sich handelt.

Als zu erfassende hydraulische Größe wird vorteilhaft der von der Pumpe erzeugte Druck bzw. Differenzdruck herangezogen, da diese Größe aggregatseitig erfasst werden kann und das Vorsehen eines solchen Druckaufnehmers bei zahlreichen Pumpenbauarten heute zum Stand der Technik zählt.

Alternativ oder zusätzlich zur Erfassung des Druckes kann als hydraulische Größe vorteilhaft auch die von der Pumpe geförderte Menge herangezogen werden. Die Erfassung der Fördermenge kann ebenfalls aggregatseitig erfolgen, auch hierfür stehen wenig aufwändige und langzeitstabile Messsysteme zur Verfügung.

15

Da die Absolutdruckerfassung des von der Pumpe erzeugten Drucks stets eine Differenzdruckmessung gegenüber der Außenatmosphäre darstellt ist es häufig günstiger, den zwischen Saug- und Druckseite der Pumpe gebildeten Differenzdruck statt des Absolutdruckes zu erfassen, der darüber hinaus als hydraulische Größe der Pumpe wesentlicher günstiger weiterzuverarbeiten ist.

Vorteilhaft wird für die mathematische Verknüpfung für die elektrische Leistung des Motors bestimmenden Größen ein elektrisches Motormodell und für die mathematische Verknüpfung der mechanisch-hydraulischen Pumpengröße ein mechanisch-hydraulisches Pumpen-/Motormodell verwendet. Dabei wird als elektrisches Motormodell bevorzugt, ein durch die Gleichungen (1) bis (5) oder (6) bis (9) oder (10) bis (14) definiertes verwendet.

30

$$L'_s \frac{di_{sd}}{dt} = -R'_s i_{sd} + \frac{L_m}{L_r} \left( R'_r \psi_{rd} + z_p \omega \psi_{rq} \right) + v_{sd} \quad (1)$$

$$L'_s \frac{di_{sq}}{dt} = -R'_s i_{sq} + \frac{L_m}{L_r} \left( R'_r \psi_{rq} - z_p \omega \psi_{rd} \right) + v_{sq} \quad (2)$$

$$\frac{d\psi_{rd}}{dt} = -R'_r \psi_{rd} - z_p \omega \psi_{rq} + R'_r L_m i_{sd} \quad (3)$$

$$\frac{d\psi_{rq}}{dt} = -R'_r \psi_{rq} + z_p \omega \psi_{rd} + R'_r L_m i_{sq} \quad (4)$$

$$T_e = z_p \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_r} (\psi_{rd} i_{sq} - \psi_{rq} i_{sd}) \quad (5)$$

Die Gleichungen (1) bis (5) repräsentieren ein elektrisches dynamisches Motormodell für einen Asynchronmotor.

$$V_s = Z_s(s) I_s \quad (6)$$

$$\omega = \omega_s - s \omega_s \quad (7)$$

$$I_r = \frac{V_s}{Z_r(s)} \quad (8)$$

$$T_e = \frac{3 R_r I_r^2}{s} \quad (9)$$

- 5 Die Gleichungen (6) bis (9) repräsentieren ein elektrisches statisches Motormodell ebenfalls für einen Asynchronmotor.

$$L_s \frac{di_{sd}}{dt} = -R_s i_{sd} + z_p \omega L_s \psi_{rq} + v_{sd} \quad (10)$$

$$L_s \frac{di_{sq}}{dt} = -R_s i_{sq} - z_p \omega L_s \psi_{rd} + v_{sq} \quad (11)$$

$$\frac{d\psi_{rd}}{dt} = -z_p \omega \psi_{rq} \quad (12)$$

$$\frac{d\psi_{rq}}{dt} = z_p \omega \psi_{rd} \quad (13)$$

$$T_e = z_p \frac{3}{2} (\psi_{rd} i_{sq} - \psi_{rq} i_{sd}) \quad (14)$$

- Die Gleichungen (10) bis (14) stellen ein elektrisches dynamisches Motormodell dar, und zwar für einen Permanentmagnetmotor.

In den Gleichungen (1) bis (14) repräsentieren

- $i_{sd}$  den Motorstrom in Richtung d
- $i_{sq}$  den Motorstrom in Richtung q
- $\psi_{rd}$  den magnetischen Fluss des Rotors in d-Richtung

$\psi_{rq}$	den magnetischen Fluss des Rotors in q-Richtung
$T_e$	das Motormoment
$v_{sd}$	die Versorgungsspannung des Motors in d-Richtung
$v_{sq}$	die Versorgungsspannung des Motors in q-Richtung
$\omega$	die Winkelgeschwindigkeit des Rotors und Laufrades
$R'_s$	den Ersatzwiderstand der Statorwicklung
$R'_r$	den Ersatzwiderstand der Rotorwicklung
$L_m$	den induktiven Kopplungswiderstand zwischen Stator- und Rotorwicklung
$L'_s$	den induktiven Ersatzwiderstand der Statorwicklung
$L_r$	den induktiven Widerstand der Rotorwicklung
$z_p$	die Polpaarzahl
$I_s$	den Phasenstrom
$V_s$	die Phasenspannung
$\omega_s$	die Frequenz der Versorgungsspannung
$\omega$	die tatsächliche Rotor- und Laufraddrehzahl
$s$	den Motorschlupf
$Z_s(s)$	die Statorimpedanz
$Z_r(s)$	die Rotorimpedanz
$R_r$	den Ersatzwiderstand der Rotorwicklung
$R_s$	den Ersatzwiderstand der Statorwicklung
$L_s$	Den induktiven Widerstand der Statorwicklung,

wobei d und q zwei senkrecht zueinander stehende Richtungen senkrecht zur Motorwelle sind,

Für das mechanisch-hydraulische Pumpen-/Motormodell wird die Gleichung (15) und mindestens eine der Gleichungen (16) und (17) vorteilhaft verwendet.

5

Dabei repräsentiert die Gleichung (15) die mechanischen Zusammenhänge zwischen Motor und Pumpe wohingegen die Gleichungen (16) und (17) die mechanisch-hydraulischen Zusammenhänge in der Pumpe beschreiben. Diese Gleichungen lauten:

10

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_e - B\omega - T_p \quad (15)$$

und mindestens eine der Gleichungen

$$H_p = -a_{h2}Q^2 + a_{h1}Q\omega + a_{h0}\omega^2 \quad (16)$$

$$T_p = -a_{t2}Q^2 + a_{t1}Q\omega + a_{t0}\omega^2 \quad (17)$$

in denen

5

- $\frac{d\omega}{dt}$  die zeitliche Ableitung der Winkelgeschwindigkeit des Rotors,
- $T_p$  das Pumpendrehmoment,
- $J$  das Massenträgheitsmoment von Rotor, Laufrad und im Laufrad gebundener Förderflüssigkeit ,
- $B$  die Reibungskonstante,
- $Q$  der Förderstrom der Pumpe,
- $H_p$  der von der Pumpe erzeugten Differenzdruck,
- $a_{h2}, a_{h1}, a_{h0}$  die Parameter, die den Zusammenhang zwischen Drehzahl des Laufrades, Förderstrom und Differenzdruck beschreiben und
- $a_{t2}, a_{t1}, a_{t0}$  die Parameter, die den Zusammenhang zwischen Drehzahl des Laufrades, Förderstrom und Massenträgheitsmoment beschreiben

Anspruch 9 definiert beispielhaft, in welcher Weise mathematische Verknüpfungen vorgenommen werden um zu ermitteln, ob ein Fehler vorliegt oder nicht. Auf das Abspeichern vorgegebener Werte kann hier im

10 Prinzip völlig verzichtet werden. Grundgedanke dieses konkreten Verfahrens besteht darin, einerseits unter Zuhilfenahme des Motormodells, das sich aufgrund der elektrischen Größen an der Motorwelle ergebende Motormoment sowie die Drehzahl zu ermitteln, wobei letztere auch gemessen werden kann. Mit Hilfe der Gleichungen (16) und/oder

15 (17) wird eine Beziehung zwischen Druck und Fördermenge einerseits bzw. zwischen Leistung/Moment und Fördermenge andererseits ermittelt. Es wird dann vorteilhaft mit Gleichung (15) überprüft, ob die mit Hilfe des Motormodells berechneten Größen mit denen mit Hilfe des Pumpenmodells nach Einsetzen der gemessenen hydraulischen Größe

20 berechneten Größen übereinstimmen oder nicht, wobei bei mangeln-



der Übereinstimmung ein Fehler registriert wird. Es wird also quasi verglichen, ob die sich aus den elektrischen Motormodell ergebenden Antriebsgrößen mit denen aus dem hydraulisch-mechanischen Pumpenmodell sich ergebenden Antriebsgrößen übereinstimmen oder nicht.

5 Wenn dies der Fall ist, arbeitet das Pumpenaggregat fehlerfrei, anderenfalls liegt ein Fehler vor, der ggfs. noch weiter spezifiziert werden kann.

Um dem System eine gewisse Toleranz zu geben, kann es sinnvoll sein, durch Varianz mindestens einer der Größen  $a_{h0}$  bis  $a_{h2}$ ,  $a_{t0}$  bis  $a_{t2}$ , B und J ein Toleranzband festzulegen, um nur dann einen Fehler zu registrieren, wenn dieser auch betriebsrelevant ist.

10

Um die Art des Fehlers näher spezifizieren zu können ist es zweckmäßig zusätzlich zu den zwei elektrischen Größen zwei hydraulische Größen vorzugsweise durch Messen zu ermitteln und die ermittelten Werte in die Gleichungen nach Anspruch 8 einzusetzen, so dass sich dann vier Fehlergrößen  $r_1$  bis  $r_4$  ergeben. Anhand der Kombination dieser Fehlergrößen wird dann die Art des Fehlers anhand vorgegebener Grenzwertkombinationen bestimmt. Auch dies erfolgt selbsttätig durch die elektronische Datenverarbeitung.

15

20

In alternativer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens können zur Ermittlung der Art des Fehlers zusätzlich zu den zwei elektrischen Größen zwei hydraulische Größen vorzugsweise durch Messen ermittelt werden und die ermittelten Werte mit vorgegebenen Werten verglichen werden, wobei dann jeweils die vorgegebenen Werte eine Fläche im dreidimensionalen Raum definieren und ermittelt wird, ob die ermittelten Größen auf diesen Flächen ( $r^*_1$  bis  $r^*_4$ ) liegen oder nicht und anhand der Kombination der Werte die Art des Fehlers anhand vorgegebener Grenzwertkombinationen ermittelt werden. Die Fehlerart kann dann beispielsweise anhand der folgenden Tabelle bestimmt werden:

25

30

Fehlerart	Fehlergröße	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_4$
	Vergleichsfläche	$r_1^*$	$r_2^*$	$r_3^*$	$r_4^*$
Erhöhte Reibung aufgrund mechanischer Defekte		1	0	1	1
Reduzierte Förderung/ fehlender Druck		0	1	1	1
Defekt im Ansaugbereich/ fehlende Fördermenge		1	1	0	1
Förderausfall		1	1	1	1

Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es somit möglich, mit einem Minimum an Sensorik nicht nur den fehlerfreien Betriebszustand des Pumpenaggregats festzustellen oder nicht festzustellen, sondern darüber hinaus im Falle eines Fehlers diesen auch noch im Einzelnen zu spezifizieren, so dass im Pumpenaggregat ein entsprechendes Fehler-  
 5 signal generiert werden kann, das die Art des Fehlers anzeigt. Dieses Signal kann gegebenenfalls zu entfernten Stellen übermittelt werden, wo die Funktion des Pumpenaggregats überwacht werden soll.  
 10

Die anhand vorgegebener Werte gebildeten Flächen im dreidimensionalen Raum sind typischerweise raumgekrümmte Flächen, deren Werte zuvor fabrikmäßig anhand des jeweiligen Aggregats oder des Aggregattyps ermittelt und im digitalen Datenspeicher aggregatseitig abgelegt sind. Dabei sind die vorerwähnten Vergleichsflächen  $r_1^*$  bis  $r_4^*$  in einem dreidimensionalen Raum angeordnet, der bei  $r_1^*$  aus dem Drehmoment, dem Durchfluss und der Rotorgeschwindigkeit, bei  $r_2^*$  aus der Förderhöhe, der Fördermenge und der Rotorgeschwindigkeit, für  $r_3^*$  aus dem Drehmoment, der Förderhöhe und der Rotorgeschwindigkeit sowie für  $r_4^*$  aus dem Drehmoment, der Förderhöhe und der Fördermenge gebildet sind.  
 15  
 20

Die in der Tabelle durch die Vergleichsflächen  $r^*_1$  bis  $r^*_4$  definierten Größen kennzeichnen den jeweiligen Betriebszustand, wobei die Ziffer 0 bedeutet, dass der jeweilige Wert innerhalb der durch die vorgegebenen Werte definierten Fläche liegt und 1 außerhalb. So kann die in der

5 Tabelle durch erhöhte Reibung aufgrund mechanischer Defekte definierte Fehlerkombination beispielsweise einen Lagerschaden oder einen sonstwie verursachten erhöhten Reibwiderstand zwischen den rotierenden Teilen und den feststehenden Teilen des Aggregats bedeuten.

10 Die unter dem Oberbegriff reduzierte Förderung/fehlender Druck gekennzeichnete Fehlerkombination kann beispielsweise durch Fehler oder Verschleiß am Pumpenlaufrad oder ein Hindernis im Pumpen Ein- oder Auslass verursacht sein. Die unter dem Oberbegriff Defekt im Ansaugbereich/fehlende Fördermenge definierte Fehlerkombination kann

15 beispielsweise durch Defekt der Ringdichtung am Saugmund der Pumpe verursacht sein. Die unter dem Oberbegriff Förderausfall fallende Fehlerkombination kann vielfältigste Ursachen haben und ist ggfs. weiter zu spezifizieren. Dieser Förderausfall kann durch eine blockierte Welle oder ein blockiertes Pumpenlaufrad, durch einen Wellenbruch, durch

20 das Lösen des Pumpenlaufrads, durch Kavitation aufgrund unzulässig niedrigen Drucks am Pumpeneinlass sowie durch Trockenlauf verursacht sein.

Die in der Tabelle durch die Größen  $r_1$  bis  $r_4$  gekennzeichneten Betriebszustände basieren auf mathematischen Berechnungen von Fehlergrößen  $r_1$  bis  $r_4$  entsprechend den Gleichungen (19) bis (22), wobei die entsprechende Fehlergröße den Wert Null annimmt, wenn ein einwandfreier Betrieb vorliegt und den Wert 1 im Falle eines Fehlers. Die Tabelle ist hinsichtlich der Fehlerart in entsprechender Weise wie oben beschrieben zu verstehen. Bildlich gesehen, repräsentiert jede der Fehlergrößen  $r_1$  bis  $r_4$  einen Abstand zu den entsprechenden Flächen  $r^*_1$  bis  $r^*_4$ . Jedoch müssen die Fehlergrößen nicht notwendigerweise mit den

25

30

Flächen  $r^*_1$  bis  $r^*_4$  korrespondieren. Die Fehlergrößen  $r_1$  bis  $r_4$  entsprechen den Gleichungen (19) bis (22) und korrespondieren zu den Flächen  $r^*_1$  bis  $r^*_4$  in den Figuren 7 bis 10.

- 5 Um die Art des Fehlers weiter zu differenzieren ist in einer Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, dass bei Ermittlung eines Fehlers das Pumpenaggregat mit geänderter Drehzahl angesteuert wird, um dann anhand der sich einstellenden Messergebnisse den ermittelten Fehler näher eingrenzen zu können.

10

Bevorzugt umfasst das mechanisch-hydraulische Pumpen-/Motormodell nicht nur das Pumpenaggregat selbst, sondern auch darüber hinaus zumindest Teile des von der Pumpe beaufschlagten hydraulischen Systems, damit auch Fehler dieses hydraulischen Systems ermittelbar sind.

15

Dabei wird das hydraulische System vorteilhaft durch die Gleichung (18) definiert, welche die Änderung des Förderstromes über die Zeit darstellt.

$$K_J \frac{dQ}{dt} = H_p - (p_{out} + \rho g z_{out} - p_{in} - \rho g z_{in}) - (K_v + K_l) Q^2 \quad (18)$$

20

in der

- $K_J$  die Konstante ist, die Mässenträgheit der Flüssigkeitssäule im Rohrsystem beschreibt,
- $K_v$  die Konstante, die die flowabhängigen Druckverluste im Ventil beschreibt und
- $K_l$  die Konstante ist, die die flowabhängigen Druckverluste im Rohrsystem beschreibt,
- $H_p$  den Differenzdruck der Pumpe,
- $p_{out}$  den Druck am verbraucherseitigen Ende der Anlage,
- $p_{in}$  den Zulaufdruck,
- $z_{out}$  das statische Druckniveau am verbraucherseitigen Ende der Anlage,
- $z_{in}$  das statische Druckniveau am Pumpeneingang,
- $\rho$  die Dichte des Fördermediums
- $g$  die Gravitationskonstante

Sind.

Die Fehlergrößen  $r_1$  bis  $r_4$  werden vorteilhaft durch die Gleichungen (19) bis (22) definiert:

$$\begin{cases} J \frac{d\hat{\omega}_1}{dt} = -B\hat{\omega}_1 - (-a_{t2}Q^2 + a_{t1}Q\omega + a_{t0}\omega^2) + T_e + k_e(\omega - \hat{\omega}_1) \\ r_1 = q_1(\omega - \hat{\omega}_1) \end{cases} \quad (19)$$

$$\begin{cases} r_2 = q_2(-a_{h2}Q^2 + a_{h1}\omega Q + a_{h0}\omega^2 - H_p) \end{cases} \quad (20)$$

$$\begin{cases} Q' = \frac{a_{h1}\omega + \sqrt{a_{h1}^2\omega^2 - 4a_{h2}(H_p + a_{h0}\omega^2)}}{2a_{h2}} \\ J \frac{d\hat{\omega}_3}{dt} = -B\hat{\omega}_3 - (-a_{t2}Q'^2 + a_{t1}Q'\omega + a_{t0}\omega^2) + T_e + k_3(\omega - \hat{\omega}_3) \\ r_3 = q_3(\omega - \hat{\omega}_3) \end{cases} \quad (21)$$

$$\begin{cases} \omega' = \frac{-a_{h1}H_p + \sqrt{a_{h1}^2H_p^2 - 4a_{h2}(H_p + a_{h0}Q^2)}}{2a_{h2}} \\ J \frac{d\hat{\omega}_4}{dt} = -B\hat{\omega}_4 - (-a_{t2}Q^2 + a_{t1}Q\omega' + a_{t0}\omega'^2) + T_e + k_4(\omega' - \hat{\omega}_4) \\ r_4 = q_4(\omega' - \hat{\omega}_4) \end{cases} \quad (22)$$

5 in denen

$k_1, k_3, k_4$	Konstanten,
$q_1, q_2, q_3, q_4$	Konstanten,
$Q'$	Die berechnete Fördermenge auf Basis von aktueller Drehzahl und gemessenem Druck,
$\hat{\omega}_1$	die berechnete Rotordrehzahl auf Grundlage der mechanisch-hydraulischen Gleichungen (15) und (17),
$\hat{\omega}_3$	die berechnete Rotordrehzahl auf Grundlage der Gleichungen (15), (16) und (17),
$\hat{\omega}_4$	die berechnete Rotordrehzahl auf Grundlage der Gleichungen (15), (16) und (17),
$\omega'$	die berechnete Rotordrehzahl aufgrund gemessenen Förderdrucks und gemessener Fördermenge
$r_1 - r_4$	Fehlergrößen und
$r_1^* - r_4^*$	durch drei Variable bestimmte Flächen sind, die einen fehlerfreien Betrieb der Pumpe repräsentieren.

Um das erfindungsgemäße Verfahren zur Fehlerermittlung bei Betriebszuständen eines Kreiselpumpenaggregats durchzuführen, sind dort Mittel zur Erfassung von zwei für den Motor leistungsbestimmenden elektri-

schen Größen sowie Mittel zur Erfassung mindestens einer veränderlichen hydraulischen Größe der Pumpe vorzusehen sowie eine elektronische Auswerteinrichtung, welche einen Fehlerzustand des Pumpenaggregats anhand der erfassten Größen ermittelt. In einfachster Form ist hier also eine Sensorik zur Erfassung von der am Motor anliegenden Versorgungsspannung und des Versorgungsstroms sowie zur Erfassung des von der Pumpe aufgetragenen Drucks vorzugsweise Differenzdrucks und der Fördermenge oder der Drehzahl vorzusehen. Darüber hinaus ist eine Auswerteinrichtung vorzusehen, die in Form einer digitalen Datenverarbeitung, z.B. eines Mikroprozessors ausgebildet sein kann, in den das erfindungsgemäße Verfahren softwaremäßig implementiert wird. Um den Vergleich zwischen erfassten bzw. berechneten Werten und vorgegebenen (z.B. fabrikseitig erfasst und abgespeicherten) Werten durchführen zu können ist ferner ein elektronischer Speicher vorzusehen. Bei modernen frequenzumrichter gesteuerten Pumpenaggregaten sind sämtliche vorgenannten hardwaremäßigen Voraussetzungen bereits vorhanden, so dass lediglich für eine ausreichende Dimensionierung der elektronischen Datenverarbeitungsanlage, insbesondere der Speichermittel und der Auswerteinrichtung zu sorgen ist. Sämtliche Bauteile mit Ausnahme der zur Erfassung von hydraulischen Größen erforderlichen Sensorik sind bevorzugt integraler Bestandteil der Motor- und/oder Pumpenelektronik, so dass konstruktiv insoweit keine weiteren Vorkehrungen zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zu treffen sind. Eine andere Ausführungsform kann ein separater in einer Schalttafel oder Steuertafel vorgesehener Baustein sein, in gleicher Weise wie ein Motorschutzschalter, jedoch mit den Überwachungs- und Diagnoseeigenschaften wie oben beschrieben.

Die hier beschriebenen Ausführungsformen beziehen sich auf Kreiselpumpen, wie sich dies auch aus dem mechanisch-hydraulischen Pumpenmodell ergibt. Solche Pumpen können beispielsweise Industripumpen, Tauchpumpen für die Abwasser- oder Wasserversorgung sowie

Heizungsumwälzpumpen sein. Besonders vorteilhaft ist ein Diagnosesystem gemäß der Erfindung bei Spaltrohrpumpen, da durch frühzeitige Fehlererkennung das Durchschleifen des Spaltrohres und damit Austritt von Förderflüssigkeit, z. B. in den Wohnbereich, vorbeugend verhindert wird. Bei der Anwendung der Erfindung im Verdrängerpumpenbereich muss das mechanisch-hydraulische Pumpenmodell entsprechend den abweichenden physikalischen Zusammenhängen angepasst werden. Entsprechendes gilt auch beim Einsatz anderer Motortypen für das elektrische Motormodell.

10

Darüber hinaus sind gemäß der Erfindung Mittel vorgesehen um mindestens eine Fehlermeldung zu erzeugen und zu übertragen an ein am Pumpenaggregat oder anderswo angeordnetes Anzeigelement, sei es in Form einer oder mehrerer Kontrollleuchten oder eines Displays mit alphanumerischer Anzeige. Dabei kann die Übertragung drahtlos, beispielsweise über Infrarot oder Funk erfolgen aber auch drahtgebunden, vorzugsweise in digitaler Form.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist in einer vereinfachten Form anhand von Fig. 1 dargestellt. In ein elektrisches Motormodell 1 fließen die veränderlichen elektrischen leistungsbestimmenden Größen ein, hier insbesondere die Spannung  $V_{abc}$  und der Strom  $i_{abc}$ . Das Produkt dieser Größen definiert die vom Motor aufgenommene elektrische Leistung. Aus diesem Motormodell, wie es beispielsweise durch die Gleichungen (1) bis (5) oder (6) bis (9) oder (10) bis (14) gegeben ist, sind das Drehmoment  $T_e$  an der Welle des Motors sowie die Drehzahl  $\omega$  des Motors ableitbar, wie sie sich rechnerisch aufgrund des Motormodells ergeben. Diese leistungsabhängigen elektrischen Größen des Motors werden mit der ermittelten mechanischen Förderhöhe  $H$  (Druck) in einem Pumpenmodell 2, beispielsweise nach den Gleichungen (16) und (17) verknüpft, wobei dann das Ergebnis mit anhand definierter Betriebspunkte ermittelter vorgegebener Betriebswerte verglichen wird. Bei Überein-

30

stimmung dieser Eingangsgrößen mit den vorgegebenen Werten arbeitet das Pumpenaggregat fehlerfrei. Ergibt sich hingegen über ein vorbestimmtes Maß hinausgehende Differenz, so wird ein Fehlersignal  $r$  generiert, welches eine Fehlfunktion der Pumpe signalisiert.

5

Bei der Ausführung gemäß Fig. 2 werden in gleicher Weise wie bei Fig. 1 die Eingangsspannung  $v_{abc}$  und der Motorstrom  $i_{abc}$  als Eingangswerte für das Motormodell 1 verwendet, um das an der Motorwelle anstehende Moment  $T_e$  und die Drehgeschwindigkeit der Welle  $\omega$  zu ermitteln. Diese aus dem Motormodell 1 abgeleiteten Werte sowie die sensorisch ermittelten Größen der Förderhöhe  $H$  (Druck) sowie der Fördermenge  $Q$  werden in einem mechanisch-hydraulischen Pumpenmodell 3 mathematisch miteinander verknüpft, das z.B. durch die Gleichungen (19) bis (22) weitergebildet ist. Hierbei werden vier Fehlergrößen  $r_1$  bis  $r_4$  generiert, wobei ein fehlerfreier Betrieb vorliegt, wenn diese alle den Wert Null annehmen und damit die Betriebspunkte in den in den Figuren 7 bis 10 im Einzelnen dargestellten Flächen  $r^*_1$  bis  $r^*_4$  liegen. Diese dort dargestellten Flächen sind aus einer Vielzahl von Betriebspunkten beim ordnungsgemäßen Betrieb des Pumpenaggregats definiert und fabrikmäßig erzeugt und im Speicherbaustein der Auswertelektronik digital abgespeichert. Alternativ oder zusätzlich wird festgestellt, ob die anhand des mechanisch-hydraulischen Pumpenmodells ermittelten Fehlergrößen  $r_1$  bis  $r_4$  Null sind oder nicht, entsprechend diesem Ergebnis erfolgt eine Auswertung gemäß der vorbeschriebenen Tabelle. Je nachdem, ob eine Fehlergröße vorliegt oder nicht, können beim Auftreten eines Fehlers insgesamt vier fehlerhafte Betriebszustände des Pumpenaggregats festgestellt werden, und zwar die unter die vorgenannten Oberbegriffe fallenden:

30

1. erhöhte Reibung aufgrund mechanischer Defekte,
2. reduzierte Förderung/fehlender Druck,
3. Defekt im Ansaugbereich/fehlende Fördermenge und



#### 4. Förderausfall.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann nicht nur das Pumpenaggregat selbst, sondern es können auch Teile der Anlage überwacht werden, in der das Pumpenaggregat angeordnet ist. Dabei gliedert sich das System so, wie in Fig. 3 im Einzelnen dargestellt ist. Auch hier ist ein elektrisches Motormodell vorgesehen, dessen Eingangsgrößen  $V_{abc}$  und  $i_{abc}$  sind und dem beispielsweise ein statisches Motormodell nach den Gleichungen (6) bis (9) zugrunde liegt, so, wie es hinlänglich bekannt und anhand von Fig. 5 dargestellt ist. Die Ausgangsgröße dieses statischen Motormodells ist das Motormoment  $T_e$ , das wiederum über die Gleichung (15) Eingang in den mechanischen Teil des Pumpenmodells 3a einfließt. Der hydraulische Teil des Pumpenmodells 3b ist durch die Gleichungen (16) und (17) definiert, über den der hydraulische Teil der Anlage 4 angekoppelt ist. Der hydraulische Teil der Anlage ist durch die Gleichung (18) definiert und anhand von Fig. 4 schematisch dargestellt, in dem  $P_{in}$  der Druck Zulauf der Pumpe,  $H_p$  der Differenzdruck der Pumpe,  $Q$  der Förderstrom,  $P_{out}$  der Druck am verbraucherseitigen Ende der Anlage und  $V_l$  die Strömungsverluste innerhalb der Pumpe darstellen.  $Z_{out}$  ist das statische Druckniveau am verbraucherseitigen Ende der Anlage und  $Z_{in}$  das am Pumpeneingang.

Fig. 3 verdeutlicht also die Zusammenhänge zwischen Motormodell, mechanischem Teil des Pumpenmodells, hydraulischen Teil des Pumpenmodells und hydraulischen Teil der Anlage. Während in den hydraulischen Teile des Pumpenmodells 3b und den hydraulischen Teil der Anlage Förderhöhe und Fördermenge ein- bzw. ausgehen, gehen in den hydraulischen Teil des Pumpenmodells 3b die Drehzahl  $\omega_r$  ein, die auch in das Motormodell 1 eingeht. Das aus dem hydraulischen Teil des Pumpenmodells 3b ermittelte Moment geht wiederum in den mechanischen Teil des Pumpenmodells 3a zur Ermittlung der Drehzahl ein.

Die vorstehend beschriebenen Gleichungen zur mathematischen Beschreibung von Pumpe und Motor sind nur beispielhaft zu verstehen und können ggfs. durch andere geeignete Gleichungen, wie sie aus der einschlägigen Fachliteratur bekannt sind, ersetzt werden. Die vorstehend mit diesen Modellen ermittelbaren Fehler beim Betrieb eines Pumpenaggregats bzw. Differenzierung nach Fehlerarten kann weiter diversifiziert werden durch geeignete Fehleralgorithmen.

Um sicherzustellen, dass nicht schon geringe Fertigungstoleranzen oder Messfehler zur Abgabe von Fehlersignalen führen, ist es zweckmäßig, die in den Gleichungen (16) und (17) angegebenen Parameter  $a_h$  und  $a_l$  nicht konstant zu wählen, sondern jeweils einen unteren oder oberen Grenzwert festzusetzen, um eine gewisse Bandbreite zu erzeugen, wie sie in Fig. 6 dargestellt sind. In der dort dargestellten linken Kurve ist die Leistung über der Fördermenge und in der rechten Kurve die Förderhöhe über der Fördermenge aufgetragen.

**Bezugszeichenliste**

- 1 - Elektrisches Motormodell
- 2 - Vereinfachtes Pumpenmodell
- 5 3 - Erweitertes Pumpenmodell
- 3a - Mechanischer Teil des Pumpenmodells
- 3b - Hydraulischer Teil des Pumpenmodells
- 4 - Hydraulischer Teil der Anlage

### Ansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung von Fehlern beim Betrieb eines Pumpen-  
aggregats, bei dem mindestens zwei die elektrische Leistung des  
Motors bestimmende elektrische Größen des Motors und mindes-  
5 tens eine veränderliche hydraulische Größe der Pumpe erfasst  
werden, dadurch gekennzeichnet, dass die erfassten oder davon  
abgeleiteten Werte selbsttätig mittels elektronischer Datenverar-  
beitung mit vorgegebenen Werten verglichen werden, wobei an-  
hand des Ergebnisses ermittelt wird ob ein Fehler vorliegt oder  
10 nicht.
2. Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass einerseits die zwei die elektrische Leistung des  
Motors bestimmenden elektrischen Größen des Motors, vorzugs-  
weise die am Motor anliegende Spannung und der den Motor  
15 speisende Strom, zur Erzielung mindestens eines Vergleichswertes  
mathematisch verknüpft werden und andererseits die mindestens  
eine veränderliche hydraulische Größe der Pumpe sowie mindes-  
tens eine weitere die Leistung der Pumpe bestimmende mechani-  
sche oder hydraulische Größe zur Erzielung mindestens eines Ver-  
20 gleichswertes mathematisch verknüpft werden, wobei anhand der  
Ergebnisse der mathematischen Verknüpfungen durch Vergleich  
mit vorgegebenen Werten ermittelt wird ob ein Fehler vorliegt o-  
der nicht.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch  
25 gekennzeichnet, dass dann, wenn das Vorliegen eines Fehlers er-  
mittelt wird, weiter ermittelt wird, um welchen Fehler es sich han-  
delt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erfasste hydraulische Größe der von der Pumpe erzeugt Druck ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erfasste hydraulische Größe die Fördermenge der Pumpe ist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erfasste hydraulische Größe der Differenzdruck zwischen Saug- und Druckseite der Pumpe ist.
- 10 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die mathematische Verknüpfung ein mathematisches elektrisches Motormodell in Verbindung mit einem mathematischen mechanisch-hydraulischen Pumpen-/Motormodell verwendet wird.
- 15 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das elektrische Motormodell durch folgende Gleichungen

$$L'_s \frac{di_{sd}}{dt} = -R'_s i_{sd} + \frac{L_m}{L_r} (R'_r \psi_{rd} + z_p \omega \psi_{rq}) + v_{sd} \quad (1)$$

$$L'_s \frac{di_{sq}}{dt} = -R'_s i_{sq} + \frac{L_m}{L_r} (R'_r \psi_{rq} - z_p \omega \psi_{rd}) + v_{sq} \quad (2)$$

$$\frac{d\psi_{rd}}{dt} = -R'_r \psi_{rd} - z_p \omega \psi_{rq} + R'_r L_m i_{sd} \quad (3)$$

$$\frac{d\psi_{rq}}{dt} = -R'_r \psi_{rq} + z_p \omega \psi_{rd} + R'_r L_m i_{sq} \quad (4)$$

$$T_e = z_p \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_r} (\psi_{rd} i_{sq} - \psi_{rq} i_{sd}) \quad (5)$$

oder

$$V_s = Z_s(s) I_s \quad (6)$$

$$\omega = \omega_s - s \omega_s \quad (7)$$

$$I_r = \frac{V_s}{Z_r(s)} \quad (8)$$

$$T_e = \frac{3R_r I_r^2}{s} \quad (9)$$

oder

$$L_s \frac{di_{sd}}{dt} = -R_s i_{sd} + z_p \omega L_s \psi_{rq} + v_{sd} \quad (10)$$

$$L_s \frac{di_{sq}}{dt} = -R_s i_{sq} - z_p \omega L_s \psi_{rd} + v_{sq} \quad (11)$$

$$\frac{d\psi_{rd}}{dt} = -z_p \omega \psi_{rq} \quad (12)$$

$$\frac{d\psi_{rq}}{dt} = z_p \omega \psi_{rd} \quad (13)$$

$$T_e = z_p \frac{3}{2} (\psi_{rd} i_{sq} - \psi_{rq} i_{sd}) \quad (14)$$

gebildet wird, in denen

---

$i_{sd}$	den Motorstrom in Richtung d
$i_{sq}$	den Motorstrom in Richtung q
$\psi_{rd}$	den magnetischen Fluss des Rotors in d-Richtung
$\psi_{rq}$	den magnetischen Fluss des Rotors in q-Richtung
$T_e$	das Motormoment
$v_{sd}$	die Versorgungsspannung des Motors in d-Richtung
$v_{sq}$	die Versorgungsspannung des Motors in q-Richtung
$\omega$	die Winkelgeschwindigkeit des Rotors und Laufrades
$R'_s$	den Ersatzwiderstand der Statorwicklung
$R'_r$	den Ersatzwiderstand der Rotorwicklung
$L_m$	den induktiven Kopplungswiderstand zwischen Stator- und Rotorwicklung
$L'_s$	den induktiven Ersatzwiderstand der Statorwicklung
$L_r$	den induktiven Widerstand der Rotorwicklung
$z_p$	die Polpaarzahl
$I_s$	den Phasenstrom
$V_s$	die Phasenspannung
$\omega_s$	die Frequenz der Versorgungsspannung
$\omega$	die tatsächlich Rotor- und Laufraddrehzahl
$s$	den Motorschlupf
$Z_s(s)$	die Statorimpedanz
$Z_r(s)$	die Rotorimpedanz

$R_r$  den Ersatzwiderstand der Rotorwicklung

$R_s$  den Ersatzwiderstand der Statorwicklung

$L_s$  Den induktiven Widerstand der Statorwicklung,

wobei d und q zwei senkrecht zueinander stehende Richtungen senkrecht zur Motorwelle sind,

ist und dass das mechanisch-hydraulische Pumpen-/Motormodell durch eine Gleichung

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_e - B\omega - T_p \quad (15)$$

und mindestens eine der Gleichungen

$$H_p = -a_{h2}Q^2 + a_{h1}Q\omega + a_{h0}\omega^2 \quad (16)$$

$$T_p = -a_{t2}Q^2 + a_{t1}Q\omega + a_{t0}\omega^2 \quad (17)$$

gebildet wird, in denen

$\frac{d\omega}{dt}$  die zeitliche Ableitung der Winkelgeschwindigkeit des Rotors,

$T_p$  das Pumpendrehmoment,

$J$  das Massenträgheitsmoment von Rotor, Laufrad und im Laufrad gebundener Förderflüssigkeit ,

$B$  die Reibungskonstante,

$Q$  der Förderstrom der Pumpe,

$H_p$  der von der Pumpe erzeugten Differenzdruck,

$a_{h2}, a_{h1}, a_{h0}$  die Parameter, die den Zusammenhang zwischen Drehzahl des Laufrades, Förderstrom und Differenzdruck beschreiben und

$a_{t2}, a_{t1}, a_{t0}$  die Parameter, die den Zusammenhang zwischen Drehzahl des Laufrades, Förderstrom und Massenträgheitsmoment beschreiben

5 sind.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass in den Gleichungen (16) und (17) die Größen  $a_{h0}$ -  $a_{h2}$  und  $a_{t0}$  -  $a_{t2}$  festgelegt werden, sowie in der Gleichung (15) die Größen B und J, dass aus dem elektrischen Motormodell gemäß den Gleichun-

- gen (1) – (5) oder (6) – (9) oder (10) – (14) ein Motormoment ( $T_e$ ) ermittelt wird und die Drehzahl entweder nach den Gleichungen (1) – (5) oder (6) – (9) oder (10) – (14) berechnet oder gemessen wird, wonach mit Hilfe der Gleichungen (16) und/oder (17) eine
- 5 Beziehung zwischen Druck und Fördermenge einerseits und/oder zwischen Leistung/Moment und Fördermenge andererseits ermittelt wird, wonach vorzugsweise mit Gleichung (15) überprüft wird, ob die mit Hilfe des Motormodells berechneten Größen mit denen mit Hilfe des Pumpenmodells nach Einsetzen der gemessenen hydraulischen Größen berechneten Größen übereinstimmen oder
- 10 nicht, wobei bei mangelnder Übereinstimmung ein Fehler registriert wird.
10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass durch Varianz mindestens einer der Größen  $a_{h0}$ –  $a_{h2}$  und  $a_{t0}$  –  $a_{t2}$  und B und J ein Toleranzband festgelegt wird.
- 15
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung der Art des Fehlers zusätzlich zu den zwei elektrischen Größen zwei hydraulische Größen, vorzugsweise durch Messen ermittelt werden und die ermittelten Werte
- 20 te in die Gleichungen nach Anspruch 8 eingesetzt werden, derart, dass sich mehrere Fehlergrößen ( $r_1$  –  $r_4$ ) ergeben, wobei anhand der Kombination der Fehlergrößen die Art des Fehlers anhand vorgegebener Grenzwertkombinationen ermittelt wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung der Art des Fehlers zusätzlich zu den zwei elektrischen Größen zwei hydraulische Größen, vorzugsweise durch Messen ermittelt werden und die ermittelten Werte oder davon abgeleitete Werte mit vorgegebenen Werten verglichen werden, wobei die vorgegebene Werte jeweils eine Flä-
- 25



che definieren, wobei ermittelt wird, ob die ermittelten oder die davon abgeleiteten Größen auf einer dieser Flächen ( $r^*_1 - r^*_4$ ) liegen oder nicht, und anhand der Kombination der Fehlergrößen die Art des Fehlers anhand vorgegebener Grenzwertkombinationen ermittelt wird.

5

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung der Fehlerart anhand der folgenden Tabelle erfolgt

Fehlerart	Fehlergröße	$r_1$ ,	$r_2$ ,	$r_3$ ,	$r_4$ ,
	Vergleichsfläche	$r_1^*$	$r_2^*$	$r_3^*$	$r_4^*$
Erhöhte Reibung aufgrund mechanischer Defekte		1	0	1	1
Reduzierte Förderung/ fehlender Druck		0	1	1	1
Defekt im Ansaugbereich/ fehlende Fördermenge		1	1	0	1
Förderausfall		1	1	1	1

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei Ermittlung eines Fehlers das Pumpenaggregat mit geänderter Drehzahl angesteuert wird, um anhand der sich dann einstellenden Messergebnisse den ermittelten Fehler näher zu spezifizieren.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das mechanisch-hydraulische Pumpen-/Motormodell zumindest Teile des von der Pumpe beaufschlagten hydraulischen System mit umfasst, derart, dass auch Fehler des hydraulischen Systems ermittelbar sind.

10

15

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das hydraulische System durch die Gleichung

$$K_J \frac{dQ}{dt} = H_p - (p_{out} + \rho g z_{out} - p_{in} - \rho g z_{in}) - (K_v + K_L) Q^2 \quad (18)$$

definiert wird, in der

- $K_J$  die Konstante ist, die Mässenträgheit der Flüssigkeitssäule im Rohrsystem beschreibt,
- $K_v$  die Konstante, die die flowabhängigen Druckverluste im Ventil beschreibt und
- $K_L$  die Konstante ist, die die flowabhängigen Druckverluste im Rohrsystem beschreibt,
- $H_p$  den Differenzdruck der Pumpe,
- $P_{out}$  den Druck am verbraucherseitigen Ende der Anlage,
- $P_{in}$  den Zulaufdruck,
- $Z_{out}$  das statische Druckniveau am verbraucherseitigen Ende der Anlage,
- $Z_{in}$  das statische Druckniveau am Pumpeneingang,
- $\rho$  die Dichte des Fördermediums
- $g$  die Gravitationskonstante

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Größen  $r_1 - r_4$  durch die Gleichungen

$$\begin{cases} J \frac{d\hat{\omega}_1}{dt} = -B\hat{\omega}_1 - (-a_{t2}Q^2 + a_{t1}Q\omega + a_{t0}\omega^2) + T_e + k_e(\omega - \hat{\omega}_1) \\ r_1 = q_1(\omega - \hat{\omega}_1) \end{cases} \quad (19)$$

$$\begin{cases} r_2 = q_2(-a_{h2}Q^2 + a_{h1}Q\omega + a_{h0}\omega^2 - H_p) \end{cases} \quad (20)$$

$$\begin{cases} Q' = \frac{a_{h1}\omega + \sqrt{a_{h1}^2\omega^2 - 4a_{h2}(H_p + a_{h0}\omega^2)}}{2a_{h2}} \\ J \frac{d\hat{\omega}_3}{dt} = -B\hat{\omega}_3 - (-a_{t2}Q'^2 + a_{t1}Q'\omega + a_{t0}\omega^2) + T_e + k_3(\omega - \hat{\omega}_3) \\ r_3 = q_3(\omega - \hat{\omega}_3) \end{cases} \quad (21)$$

$$\begin{cases} \omega' = \frac{-a_{h1}H_p + \sqrt{a_{h1}^2H_p^2 - 4a_{h2}(H_p + a_{h0}Q^2)}}{2a_{h2}} \\ J \frac{d\hat{\omega}_4}{dt} = -B\hat{\omega}_4 - (-a_{t2}Q^2 + a_{t1}Q\omega' + a_{t0}\omega'^2) + T_e + k_4(\omega' - \hat{\omega}_4) \\ r_4 = q_4(\omega' - \hat{\omega}_4) \end{cases} \quad (22)$$

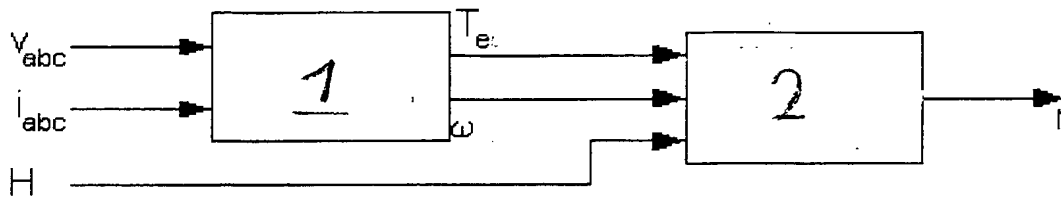
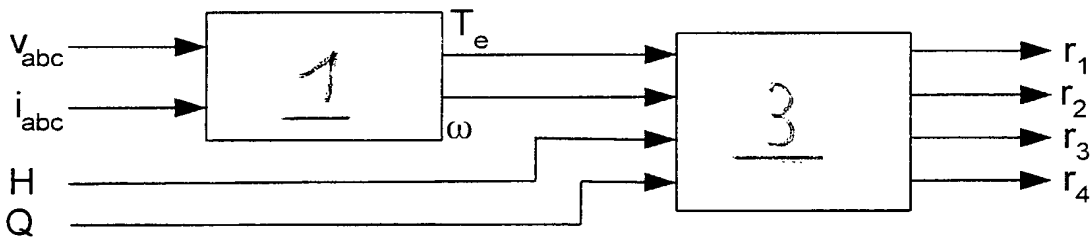
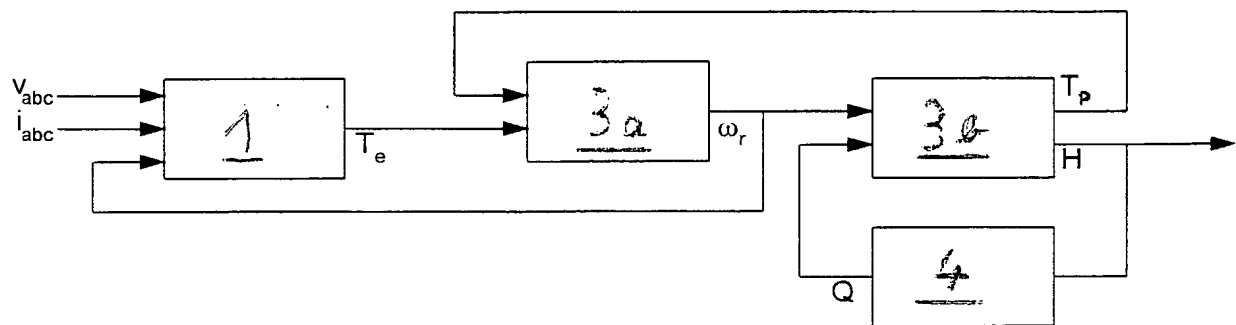
definiert sind, in denen

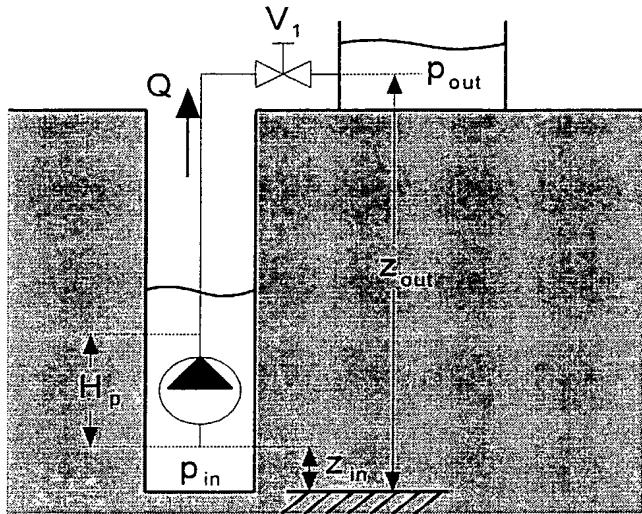
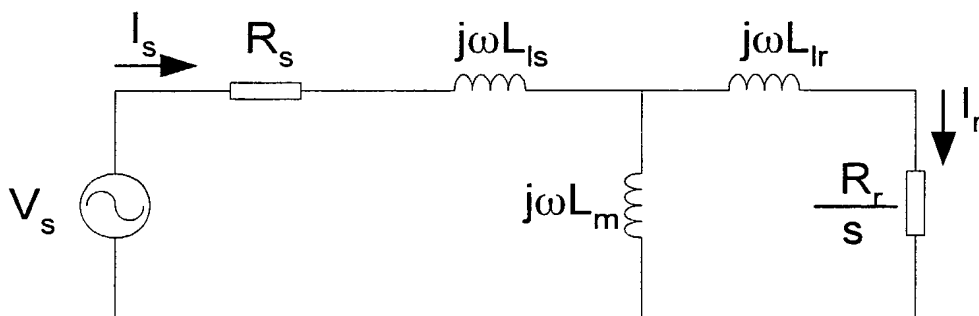
---

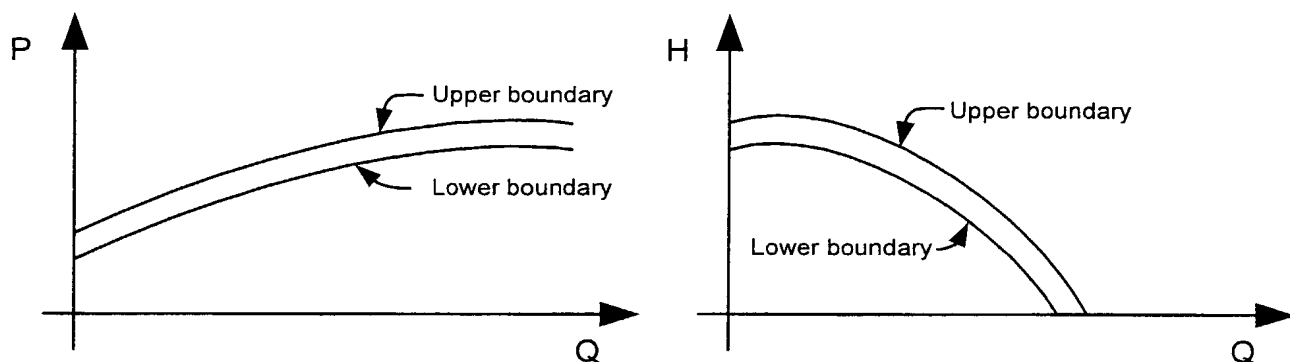
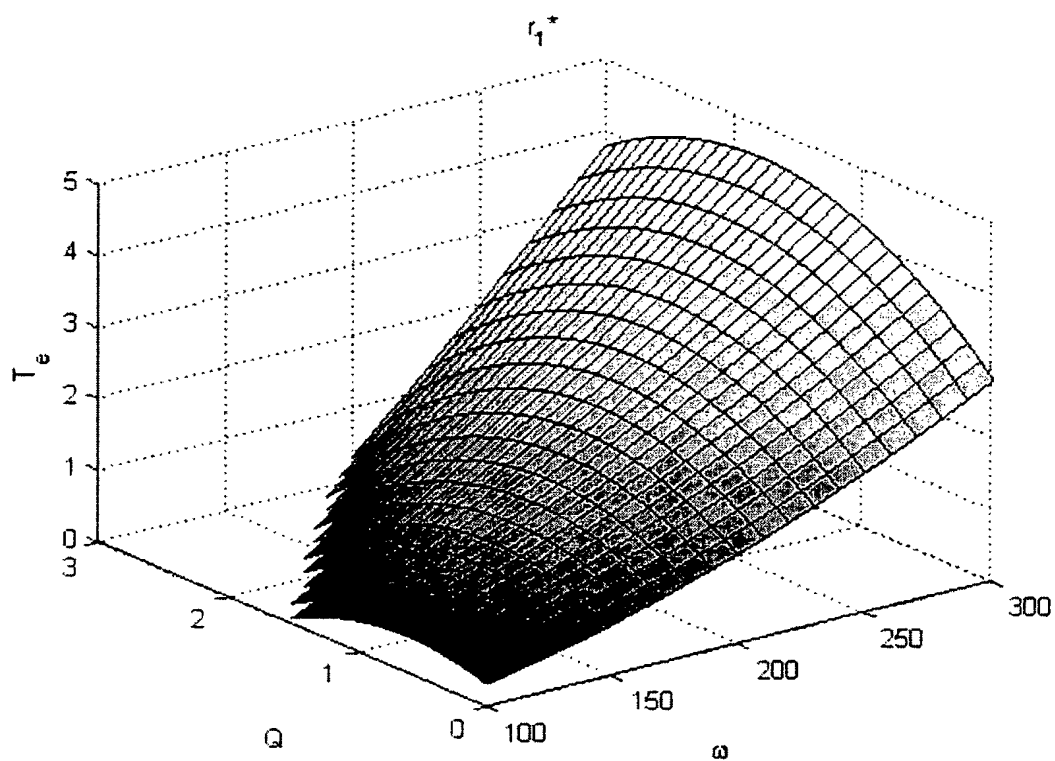
$k_1, k_3, k_4$	Konstanten,
$q_1, q_2, q_3, q_4$	Konstanten,
$Q'$	Die berechnete Fördermenge auf Basis von aktueller Drehzahl und gemessenem Druck,
$\hat{\omega}_1$	die berechnete Rotordrehzahl auf Grundlage der mechanisch-hydraulischen Gleichungen (15) und (17),
$\hat{\omega}_3$	die berechnete Rotordrehzahl auf Grundlage der Gleichungen (15), (16) und (17),
$\hat{\omega}_4$	die berechnete Rotordrehzahl auf Grundlage der Gleichungen (15), (16) und (17),
$\omega'$	die berechnete Rotordrehzahl aufgrund gemessenen Förderdrucks und gemessener Fördermenge
$r_1 - r_4$	Fehlergrößen und
$r_1^* - r_4^*$	durch drei Variable bestimmte Flächen sind, die einen fehlerfreien Betrieb der Pumpe repräsentieren.

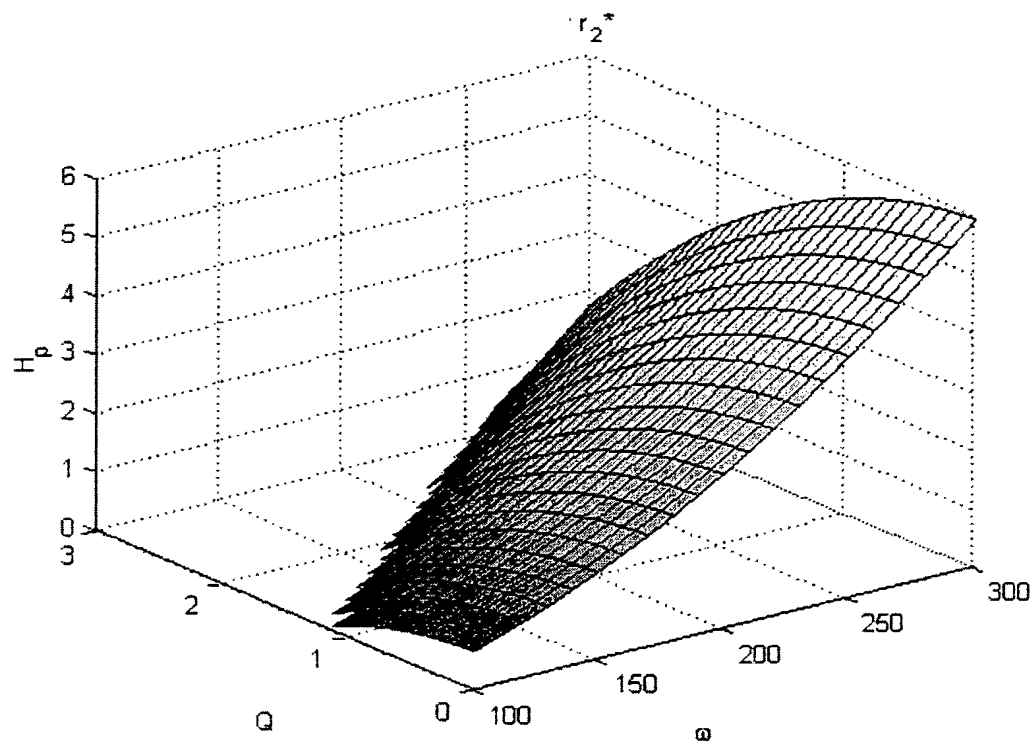
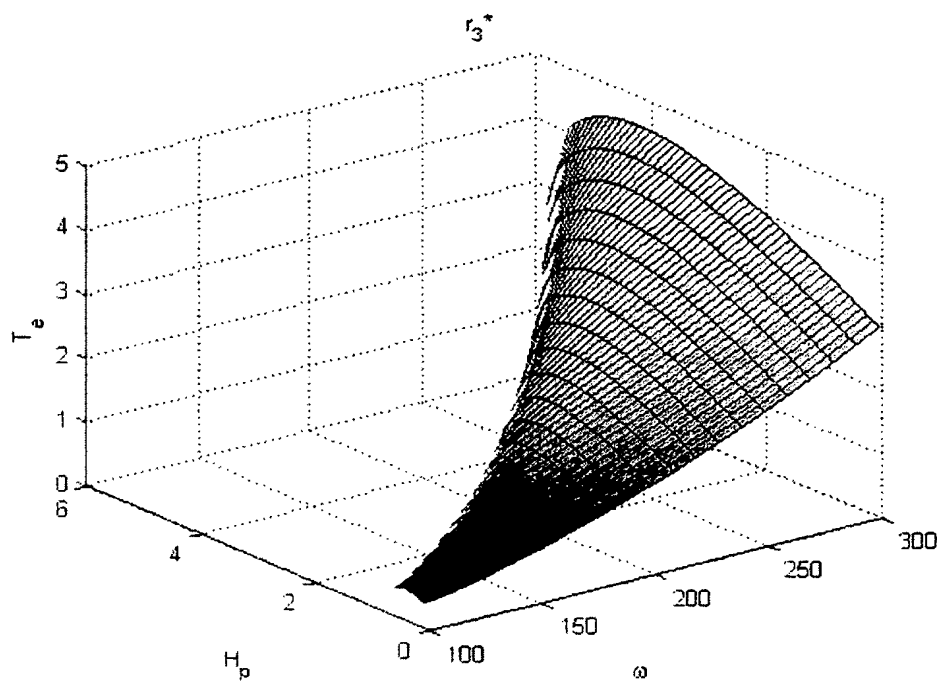
18. Vorrichtung zur Fehlerermittlung bei Betriebszuständen eines Kreiselumpenaggregats, mit Mitteln zur Erfassung von zwei für den Motor leistungsbestimmenden elektrischen Größen und mit Mitteln zur Erfassung mindestens einer veränderlichen hydraulischen Größe der Pumpe und mit einer Auswerteinrichtung, welche einen Fehlerzustand des Pumpenaggregats anhand der erfassten Größen ermittelt .
19. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zum Speichern von vorgegebenen Werten vorgesehen sind, wobei die Auswerteinrichtung Mittel zum Vergleich der erfassten Größen mit den vorgegebenen Werten umfasst.
20. Vorrichtung nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteinrichtung Mittel zur rechnerischen Verknüpfung der erfassten Größen umfasst.
21. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie integraler Bestandteil der Motor- und/oder Pumpenelektronik ist.

22. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel vorgesehen sind, mindestens eine Fehlermeldung zu erzeugen und zu übertragen.

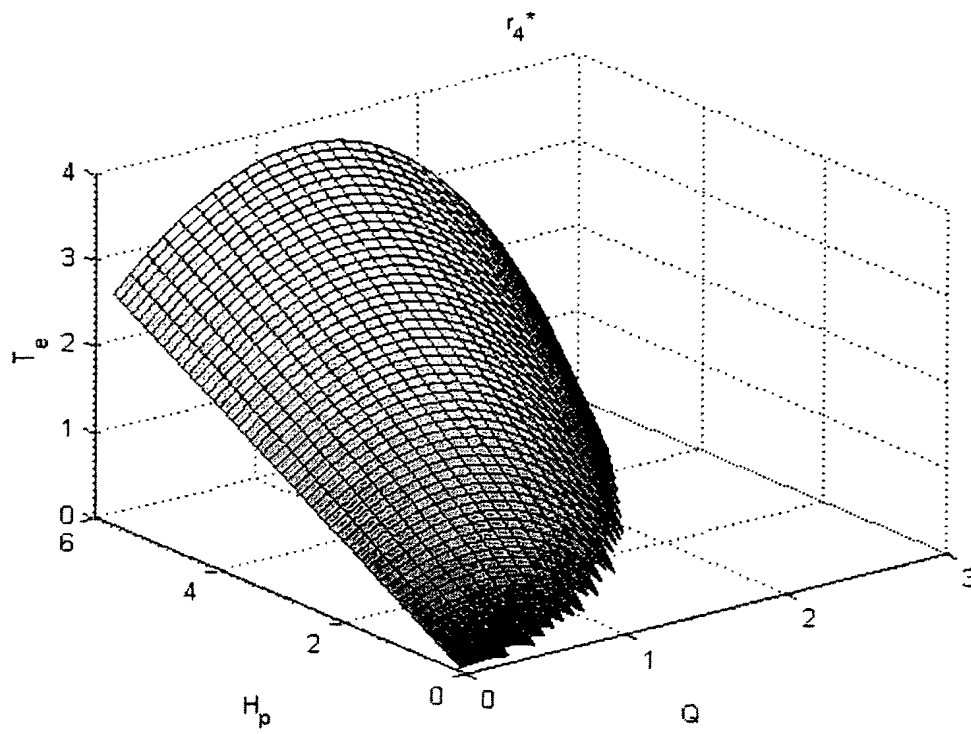
**Fig. 1****Fig. 2****Fig. 3**

**Fig. 4****Fig. 5**

**Fig. 6****Fig. 7**

**Fig. 8****Fig. 9**



**Fig. 10**

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inte 1al Application No  
PCT/EP2005/001193

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 F04D15/02 F04D27/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 F04D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 286 056 A (RELIANCE ELECTRIC TECHNOLOGIES) 26 February 2003 (2003-02-26)	1-7, 14, 18-22
A	paragraph '0014! - paragraph '0020!; figure 1	12, 13, 15
Y	EP 0 321 295 A (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP) 21 June 1989 (1989-06-21) page 3, line 42 - page 4, line 2	1-5, 14, 15, 18-22
A	page 5, line 1 - line 21; figure 3	6, 7, 13
Y	DE 101 16 339 A (DANFOSS DRIVES AS GRAASTEN) 17 October 2002 (2002-10-17) paragraph '0022! - paragraph '0039!; figure 1	1-5, 14, 15, 18-22
	----- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 April 2005

Date of mailing of the international search report

22/04/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Di Giorgio, F

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2005/001193

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 197 25 074 A (DATA PRECISION ELEKTRONIK GMBH) 17 December 1998 (1998-12-17) page 3, line 55 – page 4, line 32; figure 1 -----	1,2,13, 15,18
A	EP 1 255 174 A (STARITE S P A) 6 November 2002 (2002-11-06) paragraph '0016! – paragraph '0025!; figure 2 -----	1,2,4,18

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inte al Application No  
PCT/EP2005/001193

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
EP 1286056	A	26-02-2003	US	6655922 B1		02-12-2003
			EP	1286056 A1		26-02-2003
<hr/>						
EP 0321295	A	21-06-1989	US	4913625 A		03-04-1990
			EP	0321295 A2		21-06-1989
			JP	1200081 A		11-08-1989
<hr/>						
DE 10116339	A	17-10-2002	DE	10116339 A1		17-10-2002
			CN	1379541 A		13-11-2002
			FI	20020623 A		03-10-2002
			GB	2376534 A , B		18-12-2002
			US	2002176783 A1		28-11-2002
<hr/>						
DE 19725074	A	17-12-1998	DE	19725074 A1		17-12-1998
<hr/>						
EP 1255174	A	06-11-2002	EP	1255174 A1		06-11-2002
<hr/>						

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2005/001193

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 F04D15/02 F04D27/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 F04D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 286 056 A (RELIANCE ELECTRIC TECHNOLOGIES) 26. Februar 2003 (2003-02-26)	1-7, 14, 18-22
A	Absatz '0014! - Absatz '0020!; Abbildung 1 -----	12, 13, 15
Y	EP 0 321 295 A (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP) 21. Juni 1989 (1989-06-21) Seite 3, Zeile 42 - Seite 4, Zeile 2	1-5, 14, 15, 18-22
A	Seite 5, Zeile 1 - Zeile 21; Abbildung 3 -----	6, 7, 13
Y	DE 101 16 339 A (DANFOSS DRIVES AS GRAASTEN) 17. Oktober 2002 (2002-10-17) Absatz '0022! - Absatz '0039!; Abbildung 1 -----	1-5, 14, 15, 18-22
A	DE 197 25 074 A (DATA PRECISION ELEKTRONIK GMBH) 17. Dezember 1998 (1998-12-17) Seite 3, Zeile 55 - Seite 4, Zeile 32; Abbildung 1 ----- -/-	1, 2, 13, 15, 18

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. April 2005

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

22/04/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Di Giorgio, F

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. Aktenzeichen  
PCT/EP2005/001193

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>EP 1 255 174 A (STARITE S P A)</p> <p>6. November 2002 (2002-11-06)</p> <p>Absatz '0016! - Absatz '0025!; Abbildung 2</p> <p>-----</p>	1,2,4,18

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2005/001193

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 1286056	A	26-02-2003	US EP	6655922 B1 1286056 A1	02-12-2003 26-02-2003
EP 0321295	A	21-06-1989	US EP JP	4913625 A 0321295 A2 1200081 A	03-04-1990 21-06-1989 11-08-1989
DE 10116339	A	17-10-2002	DE CN FI GB US	10116339 A1 1379541 A 20020623 A 2376534 A , B 2002176783 A1	17-10-2002 13-11-2002 03-10-2002 18-12-2002 28-11-2002
DE 19725074	A	17-12-1998	DE	19725074 A1	17-12-1998
EP 1255174	A	06-11-2002	EP	1255174 A1	06-11-2002